

出國報告（出國類別：開會）

赴美國參加國際縱火調查協會年會

服務機關：內政部消防署

姓名職稱：秘書葉金梅

派赴國家：美國

出國期間：98年5月16日至98年5月23日

報告日期：96年8月12日

摘 要

國際縱火調查協會 (IAAI ,International Association of Arson Investigators)第 60 屆年會於 2009 年 5 月 17 日至 5 月 22 日在其德州阿靈頓市的國際會議中心舉行會及訓練課程，本次年會中計澳洲、比利時、加拿大、丹麥、愛爾蘭、義大利、紐西蘭、新加坡、南非、瑞典、瑞士、以色列、台灣、阿拉伯聯合大公國、英國和美國等國選派火災原因調查工作經驗豐富之火災調查人員與會，本署派火災調查組秘書葉金梅出席本次年會及參加年會舉辦之研討會課程。研討會課程計有火災動力學、閃燃對火災調查的影響、電氣火災調查及火災模擬實例探討，課程內容精采豐富。由研討會課程內容及與各國火災調查人員經驗交流，發現各國之火災調查技術及作為仍有許多值得效法之處，如熟練火災調查的科學方法及應用 X 光檢視儀進行非破壞性電氣證物鑑定。

目次

壹、 目的.....	3
貳、 過程.....	5
參、 心得.....	10
一、 火災動力學.....	10
二、 火載量和熱釋放率.....	12
三、 燃料形狀和火災的關係.....	17
四、 通風和火災成長的關連性.....	20
五、 閃燃對火災調查的影響.....	23
六、 通風條件對燃燒現象的影響.....	25
七、 火災現場調查科學方法.....	30
八、 電氣火災調查.....	32
肆、 建議.....	34

壹、 目的

國際縱火調查協會(IAAI ,International Association of Arson Investigators)成立於 1949 年，會員遍佈世界各國，為目前全世界最大之火災調查專業組織，該協會成立之目的除了提供基礎與進階火災調查人員訓練之外，並致力透過教育訓練方式，達到防制縱火之目的。因此，除了結合各國火災調查專業人員定期發表火災調查鑑定領域最新研究外，更進行相關案例研討及以研討會方式促進各國火災調查人員經驗與技術之交流。國際縱火調查協會每年定期舉辦年會及為期一週的研討會，研討會則邀請國際知名火災調查專業領域之專家學者發表研究心得或案例探討，及藉由火災調查人員、法官、檢察官、律師及大學教授等參與研討會，以促進火災調查技術與經驗交流。

「縱火」無論國內外均為嚴重之問題，其所造成之財物損失及人員傷亡又較其他火災為高，因此，各國無不積極防制縱火火災之發生，我國亦為世界的一份子，自不應置身於事外，實應積極參與此國際性組織，增進與世界各國經驗交流。近年來各國縱火手法日新月異，如組織性犯罪集團以縱火方式詐領保險金、甚至縱火淪為恐怖政擊的手段，故各國無不積極防制縱火。為能提升我國縱火調查水準，本署均加入國際縱火調查協會，編列年度預算派員參加年會及研討會，希望藉由參與年會之機會，除學習各項火災調查新知與技術外，並與美國及其他國家與會火調查人員經驗交流、討論及瞭解各國家之火災調查制度與技術，積極改進我國火災調查體制及提昇火災調查技術。

今年為該協會第 60 屆年會，由美國德州分會主辦，於 2009 年 5 月 17 日至 5 月 22 日在其德州阿靈頓市的國際會議中心舉行為期 6 天之年會及訓練課程，本次年會中計有澳洲、比利時、加拿大、丹麥、愛爾蘭、義大利、紐西蘭、新加坡、南非、瑞典、瑞士、以色列、台灣、阿拉伯聯合大公國、英國和美國等國家之火災原因調查工作經驗豐富人員與會，以學習火災調查的新知與技術。本署為

提升國內之火災調查技術及使火災調查技術與國際能接軌，派署秘書葉金梅出席本次年會及參加年會舉辦之研討會課程；期能吸收研討會中學者專家之最新研究結果，作為我國火災調查技術提升及制度建立之參考。另各國出席之火災調查人員均為經驗豐之政府機構火災調查人員或專業領域之火災調查人員，我國之出席人員能藉此機會與與會人員作火災調查經驗之交流外，並能藉由技術交流之便促進我國之國民外交。

貳、 過程

2009 年國際縱火調查協會第 60 屆年會於 2009 年 5 月 17 日至 22 日在美國德阿靈頓市舉辦，計有美國、英國、加拿大、愛爾蘭、以色列、杜拜、紐西蘭、澳州、南非、台灣等國家計有 4 百多人參加，會議共計進行 6 天，包括年會開幕典禮、新年會主席選舉、及研討會等內容，年會於 5 月 22 日圓滿閉幕。

本署出席人員葉金梅於 5 月 16 日（星期六）於桃園中正國際機場搭機出發前往會議地點，並於當地時間 5 月 16 日下午 8 時 30 分抵達加美國德州阿頓市，並於當日晚間抵達住宿年會旅館。5 月 17 日（星期日）即前往國際縱調查年會會場(美國德州阿靈頓市國際會議中心)辦理報到及註冊等相關事宜，並領取會議文件及識別證等資料，並會晤加 IAAI 協會人員及德州支會舉辦年會人員及與各國與會之火災調查人員交流。參加 5 月 18 日的年會開幕典禮後，接著參加 5 月 18 日至 5 月 22 日的研討會，會議結束後搭機返回臺灣，並於 5 月 23 日返抵臺灣。

5 月 18 日早上為年會開幕典禮，開幕典禮上介紹對對縱火調查有特殊貢獻之人士及本屆年會研討會之主講人及協會未來之發展規劃，接著進行下屆年會主席候選人政見發表，開幕典禮結束後由會員投票選舉下屆之主席，今年主席之選舉，亦可透過網路方式投票。年會研討會課程正式於 5 月 18 日上午 10 開始，每日同一時段安排幾場不同主題之演講；由於每場會議之議題均極具吸引力，但受限於會議時間，僅能選擇對國內火災調查技術提昇較有助益的課程參加。

本年度年會於美國德州阿靈頓市國際會議中心舉辦，自 5 月 17 日(星期日)即開始辦理報到，本次年會依與會會員職業類別之不同，共計分為 4 組，每日之課程內容如下：

一、 公共安全組

日期	時間	課程名稱'
5/18	8:00-9:45	開幕典禮
5/18	10:00-11:45	炸彈及縱火檔案資料庫運用介紹
5/18	1:00-2:45	壁爐的秘密-縱火犯的訪談
5/18	3:00-5:00	壁爐的秘密-縱火犯的訪談
5/19	8:00-9:45	火災現場調查管理技巧
5/19	10:00-11:45	FEMA 補助金申請
5/19	1:00-2:45	來自 Oz 的課程
5/19	3:00-5:00	以火災做爲恐怖主義攻擊手段
5/20	8:00-9:45	火災案件的起訴
5/20	10:00-11:45	火災案件的起訴
5/20	1:00-2:45	德州巡警隊-訪談和偵訊
5/20	3:00-5:00	德州巡警隊-訪談和偵訊
5/21	8:00-9:45	炸彈爆炸調查
5/21	10:00-11:45	刑事鑑識系統管理
5/21	1:00-2:45	Van Bateman 縱火案例討論
5/21	3:00-5:00	Van Bateman 縱火案例討論
5/22	8:00-9:45	德州巡警隊-犯罪現場繪圖技巧
5/22	10:00-11:45	爆炸後調查-犯罪現場繪圖技巧

二、 火災調查科學組

日期	時間	課程名稱'
5/18	8:00-9:45	開幕典禮
5/18	10:00-11:45	火災動力學
5/18	1:00-2:45	閃燃後之火災現場調查
5/18	3:00-5:00	法醫學及昆蟲學
5/19	8:00-9:45	電氣火災模擬
5/19	10:00-11:45	電氣火災模擬
5/19	1:00-2:45	年度會議
5/19	3:00-5:00	年度會議
5/20	8:00-9:45	火災死亡調查
5/20	10:00-11:45	火災死亡調查
5/20	1:00-2:45	火災死亡調查
5/20	3:00-5:00	火災死亡調查
5/21	8:00-9:45	消防人員縱火

5/21	10:00-11:45	火災調查科學方法
5/21	1:00-2:45	縱火犯剖繪
5/21	3:00-5:00	縱火犯剖繪
5/22	8:00-9:45	自燃性物質引燃
5/22	10:00-11:45	自燃性物質引燃

三、私人調查公司組

日期	時間	課程名稱
5/18	8:00-9:45	開幕典禮
5/18	10:00-11:45	火災現場調查報告製要領
5/18	1:00-2:45	UL 標示對火災調查人員助益
5/18	3:00-5:00	如何避免物證變造及毀損
5/19	8:00-9:45	風力對燃燒的影響
5/19	10:00-11:45	專家報告
5/19	1:00-2:45	年度會議
5/19	3:00-5:00	年度會議
5/20	8:00-9:45	電氣火災證物的採集
5/20	10:00-11:45	引火源的鑑定
5/20	1:00-2:45	消防設備系統
5/20	3:00-5:00	火災現場所見
5/21	8:00-9:45	專家證言
5/21	10:00-11:45	Buncefield 火災案例探討
5/21	1:00-2:45	爆炸調查
5/21	3:00-5:00	爆炸調查

四、火災調查基礎課程

日期	時間	課程名稱
5/18	8:00-9:45	開幕典禮
5/18	10:00-11:45	火災調查相關問題探討，內容包括：
5/18	1:00-2:45	
5/18	3:00-5:00	
5/19	8:00-9:45	
5/19	10:00-11:45	
5/19	1:00-2:45	
5/19	3:00-5:00	
5/19	3:00-5:00	

5/20	8:00-9:45	7. 燃燒痕跡
5/20	10:00-11:45	8. 採證問題
5/20	1:00-2:45	9. 人員死亡火災案例討論
5/20	3:00-5:00	10. 如何填寫個人履歷
5/21	8:00-9:45	11. NFPA 1033
5/21	10:00-11:45	
5/21	1:00-2:45	
5/21	3:00-5:00	
5/22	8:00-9:45	
5/22	10:00-11:45	

除了前述四類課程外，本次年會更有安排參觀美國著名的刑事鑑定實驗室「Amstrong 刑事鑑定實驗室」，該實驗室為 ASCLD 認證通過的刑事鑑定實驗室，其工作範疇包含促燃劑殘跡鑑定，採用 ASTM1412 及 1618 做為促燃劑殘跡鑑定的方法，此和國內目前使用的方法相同。



IAAI 2009 年年會開幕典禮



IAAI 新任主席於交接典禮上致詞



參觀 Amstrong 刑事鑑定實驗室

參、心得

本次會議中研討會之主講人，均為國際火災調查學術界及實務界頗負盛名之學者及火災調查專業人員，如當前火災調查最重要參考書「KIRK'S 火災調查」的作者 John Dehaan 講授火災現場調查報告製作；由 ATF 退休專門研究閃燃象現的 Steve Carman 講授閃燃後火災現場調查的影響；現任職 NIST 的火災動力學專家 Dan Madrzykowski 講授最新的火災動力學研究結論，更有來自以色列對於炸彈現場調查非常有名的 Shalom Tsaroom 講授重大炸彈爆炸現場的處理及調查；還有澳州的 Ross Brogan 講授爆炸調查等研討內容，講座將其所學與研究心得彙整、理論與學術互相印證，演講內容深入淺出，並輔以各種火災現場相片，對與會人員頗有助益，以下僅將研討會專題演講心得內容摘要分述如下：

一、火災動力學

由美國 NFPA 統計數據中，美國於 2007 年共發生 399,000 件住宅火災，造成 2,865 人死亡，其中因火災而死亡的比率為 84%，造成的傷亡數為 13,600，直接造成的財物損失為 7,400 萬美元，在有人員死亡的火災中，其起火地點的統計排序依次為臥室、客廳、廚房等；和國內統計結果相仿。

近年來因為建築材料的改變，使得火災動力學的發展亦有新的變化，如以前沙發座墊使用的材料為棉花，當今的材料則使用發泡棉及大量的高分子材料，因而火災動力學發生重大的改變。火災動力學(Fire Dynamics)原本只為研究火災如何開始，延燒和其發展的科學，然而現已轉變為火災的燃燒化學、火災學、材料科學、流體力學原理和熱傳導對火災行為的影響等內容，和以前的火災學相較當今的火災動力學範疇已較深且廣。

近年來對火災行為學的研究發現典型的火災發展為初期、成長期、全盛期及衰退期，其曲線為一平滑的曲線，如圖 1。然而由最近之研究發現火災行為的曲線並非如以前所預測為一平滑曲線，實驗證實其為一具有轉折的曲線，如圖 2。由圖 2 中可發現火災在無通風狀態下，呈現衰退現象，當建築物內導入空氣後(如破窗或破門)，火勢快速發展至最高溫度後，則呈現溫度下降趨勢。

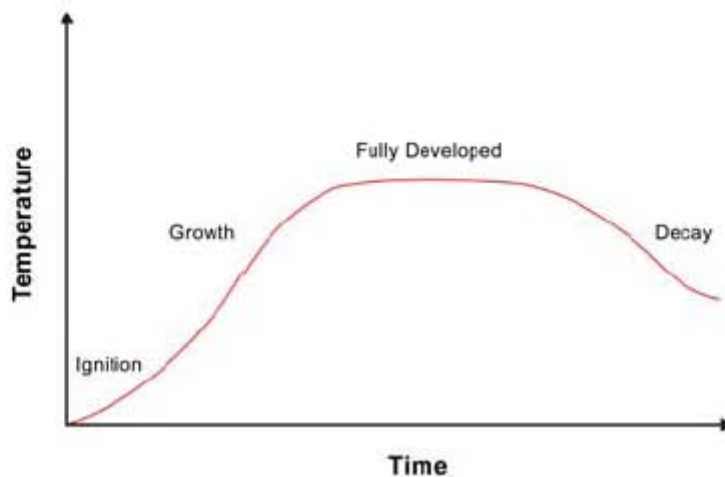


圖 1 傳統火災行為曲線圖

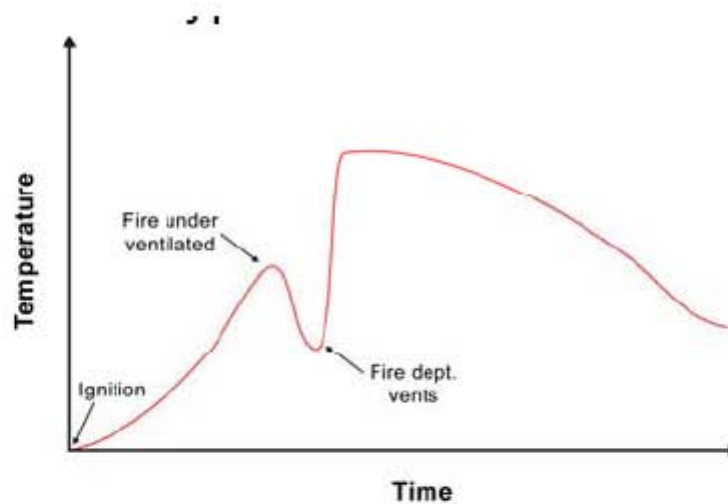


圖 2 典型火災行為曲線圖

二、火載量和熱釋放率

火災為產生快速的氧化還原過程的化學反應，在反應程中會產生不同強度的光和熱，火災量測單位則為溫度(Temperature)、熱能(heat energy)、熱釋放率(heat release rate)及熱通量(Heat Flux)。溫度為燃燒物質相對參考物質的分子活動程度的表現，量測的單位為華氏(°F, Fahrenheit)及攝氏(°C, Celsius)，溫度對人的影響如表 1。

表 1 人體對溫度的反應

溫度°C (°F)	反應
37°C (96.6°F)	人的正常體溫
44°C (111°F)	人的皮膚開始感覺到痛
48°C (118°F)	人的皮膚受到一級燒傷
55°C (131°F)	人的皮膚受到二級燒傷
62°C (140°F)	受燒的組織變的麻木
72°C (162°F)	人體的皮膚馬上受到破壞
100°C (212°F)	水沸騰並且產生蒸氣
140°C (284°F)	碳酸酯聚合物的玻璃轉換溫度
230°C (446°F)	碳酸酯聚合物熔點
250°C (482°F)	天然棉製品開始碳化
>300°C (>572°F)	現代防護衣物織品開始碳化
>600°C (>1112°F)	室內火災產生閃燃後的溫度

熱能(heat engery)為物質的溫度改變所需的能量，加熱時會使溫度上升，移除熱源時則溫度會下降，其單位為焦耳(J, Joule)， $4.184\text{J}=1\text{ Cal}$ ， $1055\text{J}=1\text{BTU}$ 。熱釋放率(Heat Release Rate)，國際通用單位為 W(Watt)=每秒產生一焦耳的熱

量， $1\text{KW}=0.949\text{BTU/s}$ 。其中熱能和溫度的關係以一根蠟燭對 10 根蠟燭為例，其火焰溫度相同，但產生 10 倍的熱能。熱通量(heat flux)為每平方公尺傳導的熱能，單位為 kW/m^2 ，以晴天為例，其熱通量為 1.0kW/m^2 。

熱傳導為控制火災經歷引燃、成長期、擴散、衰退及消滅的主要因素，因此熱傳導進入物品使其溫度升高，熱由物件傳導出去，則其溫度下降，因為熱能永遠由溫度高者向低者傳導。熱傳導機制分為傳導、對流及輻射，傳導為固體內或兩接觸的固體間熱傳導現象，對流為在液相或氣相間藉由移動的熱傳導現象，輻射則為藉由電磁波的熱傳導現象，熱傳導係數單位為 $\text{W/m}^2\text{K}$ ，表 2 為常見物質的熱傳導係數。

表 2 常見物質熱傳導係數

物質名稱	熱傳導係數($\text{W/m}^2\text{K}$)
銅	387
不銹鋼	45.8
玻璃	0.76
磚	0.69
石膏板	0.48
橡樹	0.17
松樹	0.14
PPE(純樹脂)	0.034-0.136
空氣	0.026

對流的熱傳導數($\text{W/m}^2\text{K}$)，經驗值而言，若為自然對流則其係數為 5 至 25，強迫對流時其熱傳導係數範圍則為 10 至 100。輻射的發散係數，將黑體(black body)定為 1，吸收板則為 0.96，大部份的灰色體則為 0.5 至 0.9，拋光鋼板為 0.066。圖 3 及圖 4 分別為熱對流及輻射的實驗曲線圖。大部分的燃料釋放主要的熱量乃

藉由熱對流的方式，接著才是輻射，熱對流約佔 60%至 75%，輻射則佔 25 至 40%。

火災四面體為燃料、氧化劑、火源及連鎖反應，燃料則有有機燃料及無機燃料，有機燃料為含碳、氫及氧元素，如木材、塑膠、汽油及天燃氣。無機燃料則為不含碳之物質，如鎂、鈉等。在燃燒中亦有一重要現象為裂解，依 NFPA921 的定義，其為物質單獨加熱裂解為一個或以上的物質。在燃燒中亦有一重要的參數為燃燒熱，其為燃料的化學潛能，以木材為例，常態下的燃燒熱為 12-15MJ/kg，塑膠為 15-40 MJ/kg，液態碳氫化合物為 43-50 MJ/kg，表 3 為燃燒熱和火焰溫度之參數，表 4 為常見燃料燃燒後燃燒產物的量。

表 3 常見物質燃燒熱和火焰溫度

	燃燒熱(MJ/kg)	火焰溫度(°C)
棉	16-20	-
乙醇	29.7	840
汽油	43.7	1020
聚乙烯(PE)	43.2	~1000+
聚丙烯(PP)	43.2	-
聚苯乙烯(PS)	40.0	-
聚氨酯	23.0	-
木材	12-20	600-1000

表 4 常見燃燒燃燒產物量

燃料	產物量(g)/每克燃料燒失			
	CO ₂	CO	煙粒子	HCs
甲烷	2.72	0	0	0
丙烷	2.85	0.005	0.024	0.003
聚丙烯	2.79	0.024	0.059	0.006
聚苯乙烯	2.33	0.060	0.164	0.014
紅樺樹	1.27	0.004	0.015	0.001

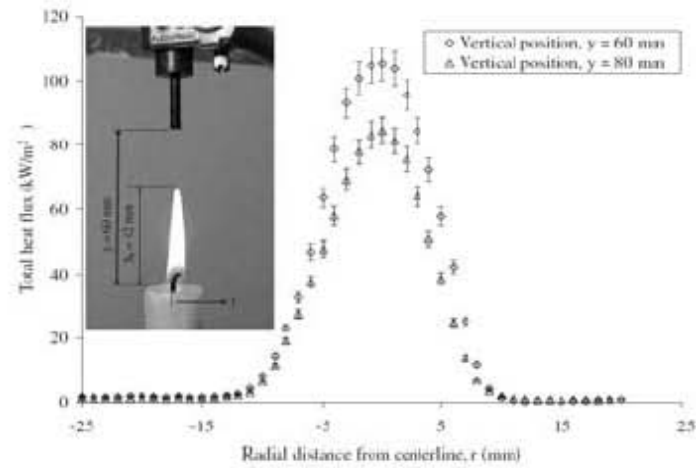


圖 3 對流的熱傳導

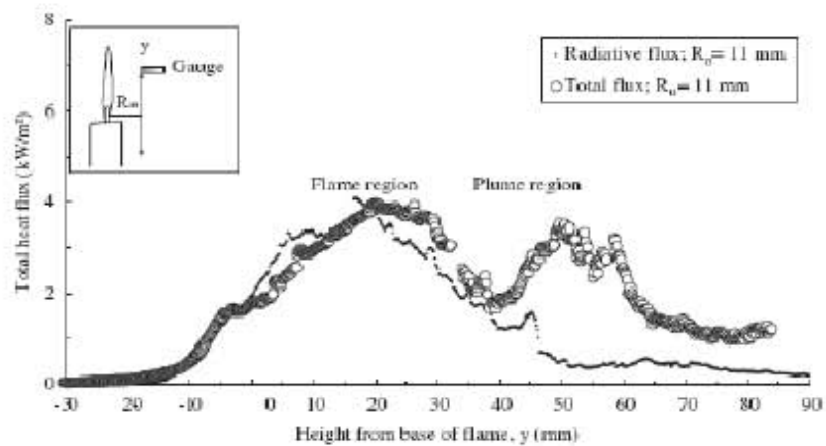


圖 4 輻射的熱傳導

火載量和熱釋放率的關係，火載量為單位面積的質量(lbs/ft²)，其用以預估總熱釋放率(假設所有燃料燃燒)，當通風限制的條件為已知時，燃燒時間和最大熱釋放率是可以預測。熱釋放率(kW 或 MW)代表是火災成長的速率，其量測方法可使用氧氣炸彈熱卡計(單位質量的總理論熱釋放率或理論燃燒熱)，總熱釋放率=理論燃燒熱×物質損失速率，木材和纖維素為 12 至 20MJ/kg，塑膠為 15 至 40 MJ/kg，液態的碳氣化合物為 40 至 50 MJ/kg；另一種熱釋放率量測為使用氧耗熱卡計(Oxygen consumption calorimetry)，發現大部分的材料熱釋放率為 13.1MJ/每公斤氧消耗。化學或對流的熱釋放率是以質量消耗所產生的有效燃燒熱而定。物體熱釋放率是依燃料本身的化學或物理性質而定、燃料和容器的幾形狀、通風及附近存在的燃料而定，因此對火災調查人員而言了解房間內物品的熱釋放率是非常重要的，進而能熟知當物體釋放出能量則會改變房間內的熱能條件，或了解其如何經由熱傳導引燃周圍的燃料，表 5 為常見物質的熱釋放率高峰值。其亦以咖啡機為實驗，測量燃燒時間與熱釋放率的關係，如圖 5。

表 5 常見物質的熱釋放率高峰值

名稱	熱釋放率
燃燒的香煙	5W
燃燒中的火柴	80W
燃燒中的咖啡機	40KW
小垃圾桶、垃圾袋火災	50 至 300KW
燃燒中有墊子的椅子	80KW 至 2.5MW
燃燒中有墊子的沙發	3MW 至 5MW
燃燒中的聖誕樹	1.6MW 至 5.2MW



圖 5 咖啡機燃燒時間與熱釋放率的關係

三、燃料形狀和火災的關係

燃料的幾何形狀和火災之延燒及發展有很大的關係，講座藉由示意圖及實際火災案例解說，使參加的會，燃料為液體時其形狀為噴霧或潑灑兩者之燃形態亦不相同，固體燃料則和其厚度、密度、是否平放，是否有凹凸形狀等有關。圖 6 至 8 表示熱的傳導方式。

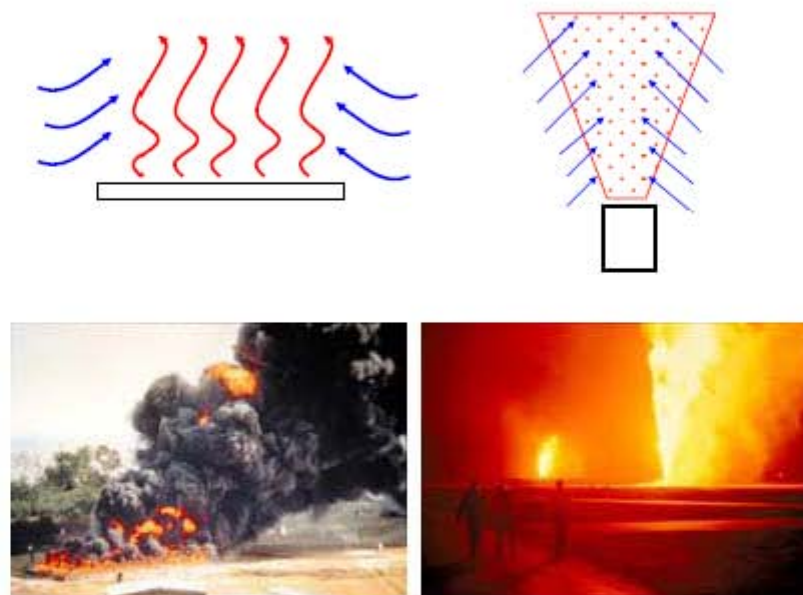


圖 6 液體燃料潑灑和噴霧的燃燒型態

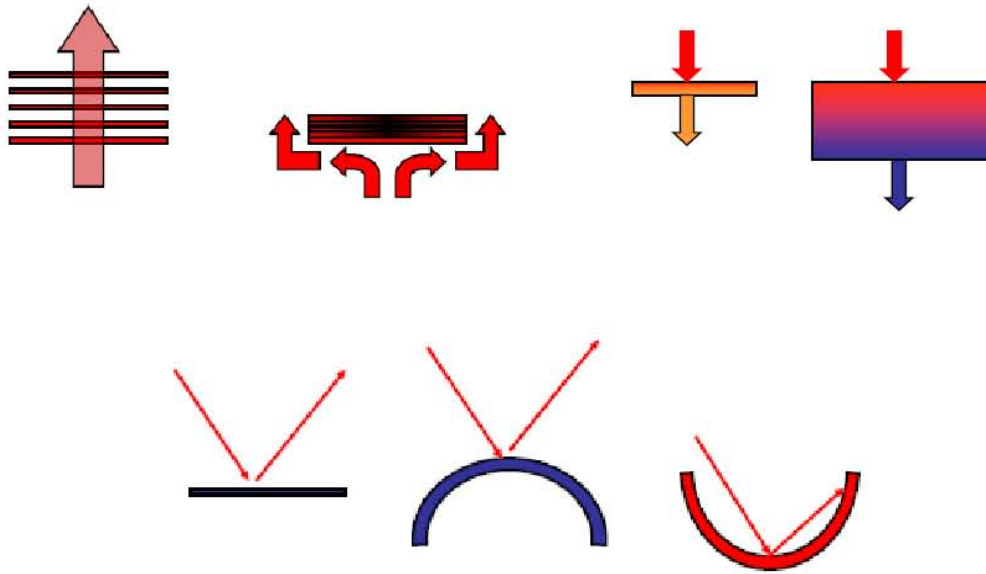


圖 7 燃料厚度、密度及放置方式對燃燒的影響

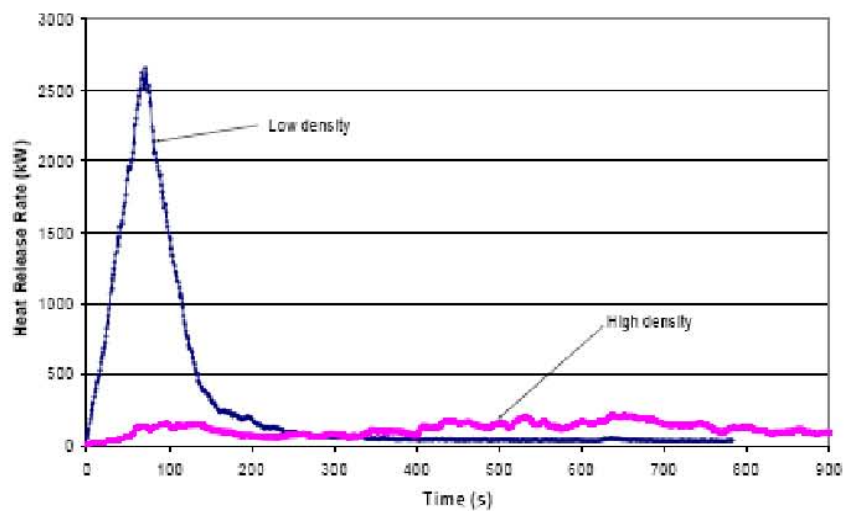


圖 8 密度和熱釋放率的關係

(一)洋芋片燃燒實驗

在美國洋芋片為常見的食品，其內含有大量油脂，因此常有縱火犯以其為縱火犯罪的工具，以洋芋片為實驗對象，量測其擺放的方式及釋放率，其實驗條件為：使用 72 吋x48 吋寬x22 吋深的銹鋼架，鋼架上網子為 2 吋寬x4 吋高，分為

四層，每層高 18 吋；計擺放 80 包洋芋片，總火載量為 59.6 磅。每層放 20 包，分爲 5 包 4 排，以電子火柴在架子中央的底部點火，共進行兩次一樣的實驗，兩次實驗結果相近，具有良好的再現性，其熱釋放率高峰接近 6MW，和沙發熱釋放率高峰值相近，其實驗結果發現如圖 9。

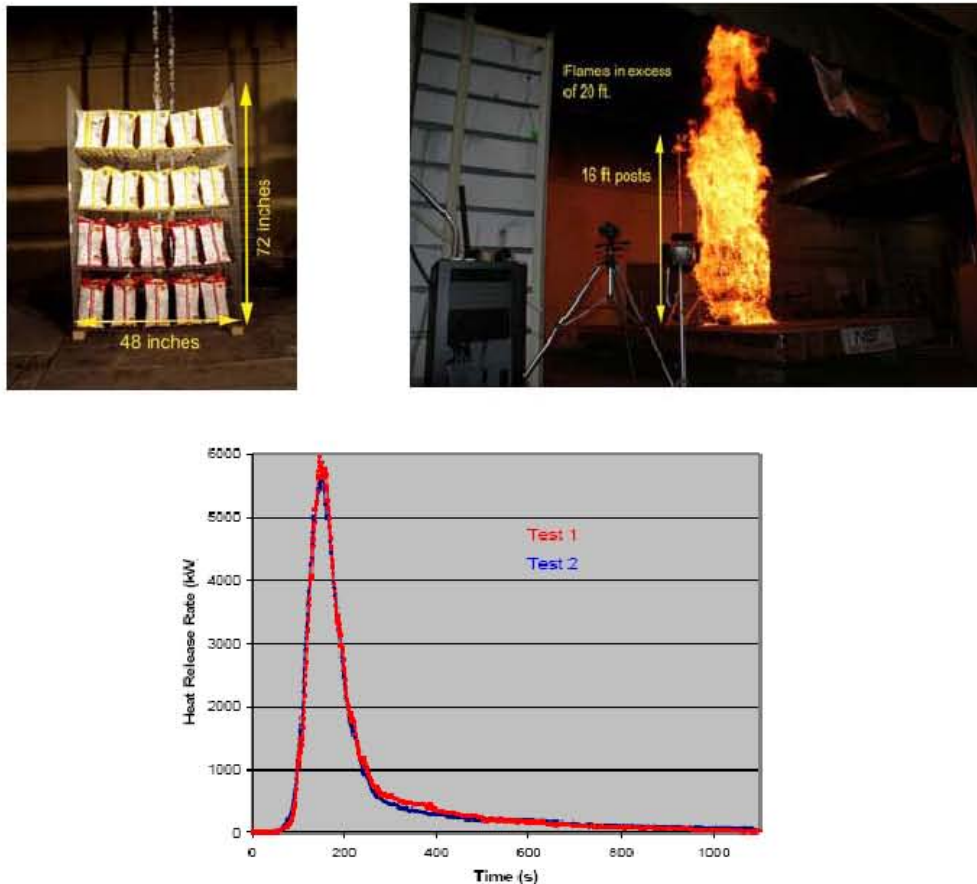


圖 9 洋芋片擺放及火焰高度及熱釋放率實驗

(一) OA 隔間辦公室燃燒實驗

辦公室常以 OA 估爲隔間，因此課程中有一實驗係針對隔間方式的和熱釋放率的關係進行實驗，分別進行 2 面、3 面及 4 面隔間的 OA 辦公室進行實驗，其品配置均相同；實驗結果發現相同的物品配置以 4 面隔間的 OA 辦公室之熱釋放率最高，如圖 10。

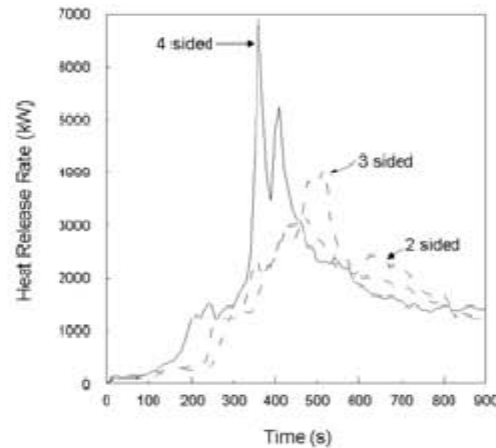
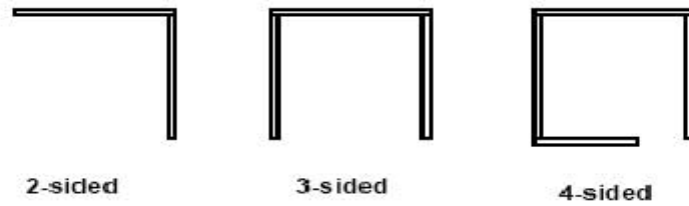


圖 10 辦公室隔間方式及熱釋放率和辦公室隔間方式的關係

四、通風和火災成長的關連性

研討會課程中亦以一實驗讓與會人員了解通風和火災成長的關連性，實驗條件為模擬學校宿舍火災，建築結構為房間外有走廊，除監測房間內的燒損情形外，亦同時監測走廊的溫度及氣體濃度變化情形。房間內的總火載量約為 1350 磅，每平方英尺的火載量為 8 磅，材質以木製品及塑膠製品為主。其模擬狀況分為宿舍房間門關閉-無灑水頭(實驗 A)、宿舍房間門關閉-有灑水頭(實驗 B)、宿舍房間打開-有灑水頭(實驗 C)及宿舍房間門打開-無灑水頭(實驗 D)等 4 種情形。下列監測實驗結果圖表中”1”為房間內溫度變化，”2”為走廊溫度走道，”3”為房間內氣體濃度變化，”4”為走廊氣體濃度變化。

經由 4 次實驗結果發現通風對於火災發展的影響非常大，房間在密閉狀態下，即使引火燃燒，在氧氣耗盡時會自燃熄滅。實驗 A、B 及 C 的三者受燒結果相近，實驗 D 則由房間延燒至走廊；圖 11 至 15 為實驗結果及溫度、氣體變化實

驗結果。



圖 11 實驗 A、B、C 及 D 火災模擬燃燒後燒損情形比較

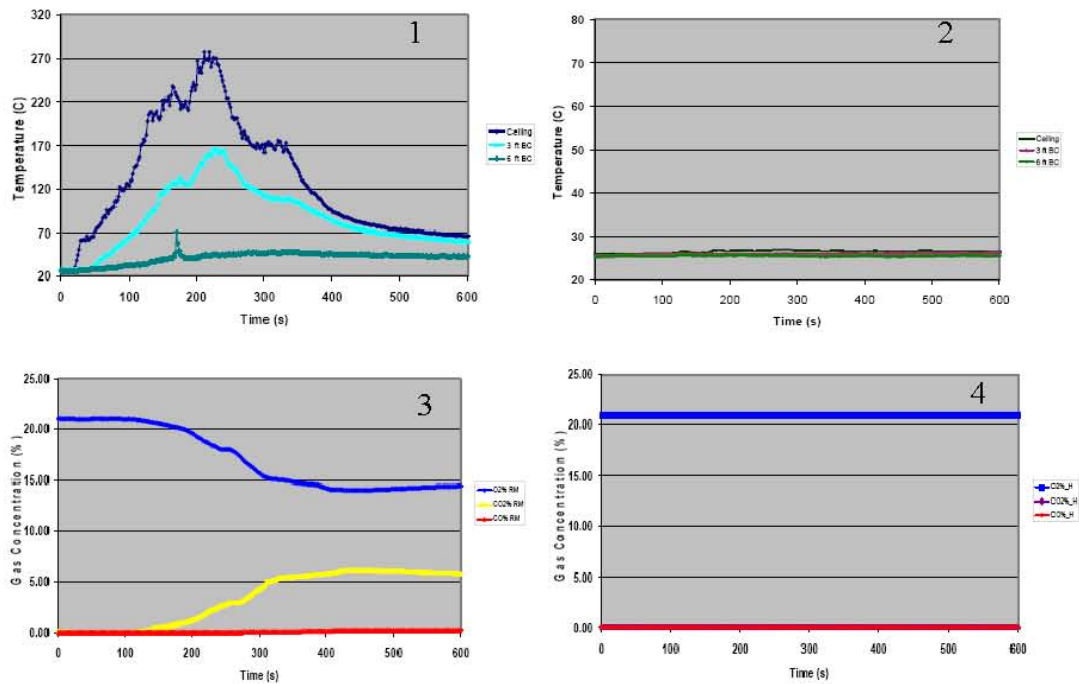


圖 12 實驗 A 之溫度及氣體濃度變化結果

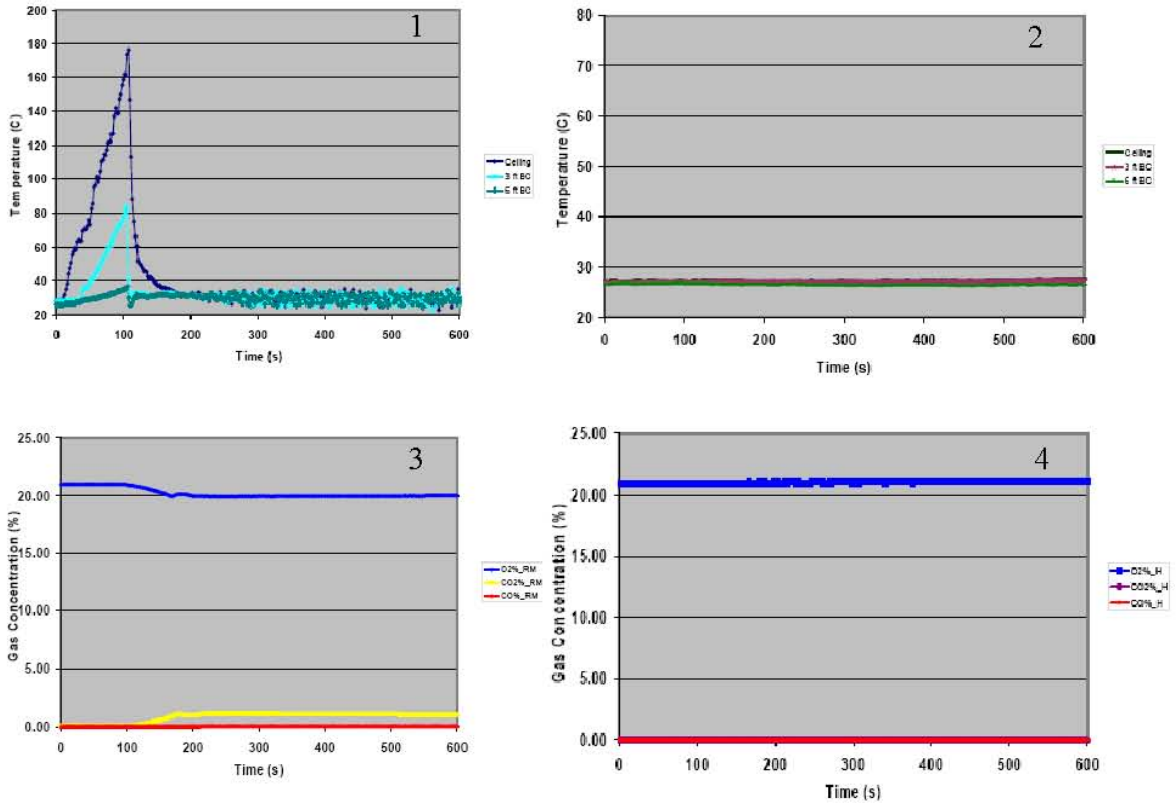


圖 13 實驗 B 之溫度及氣體濃度變化結果

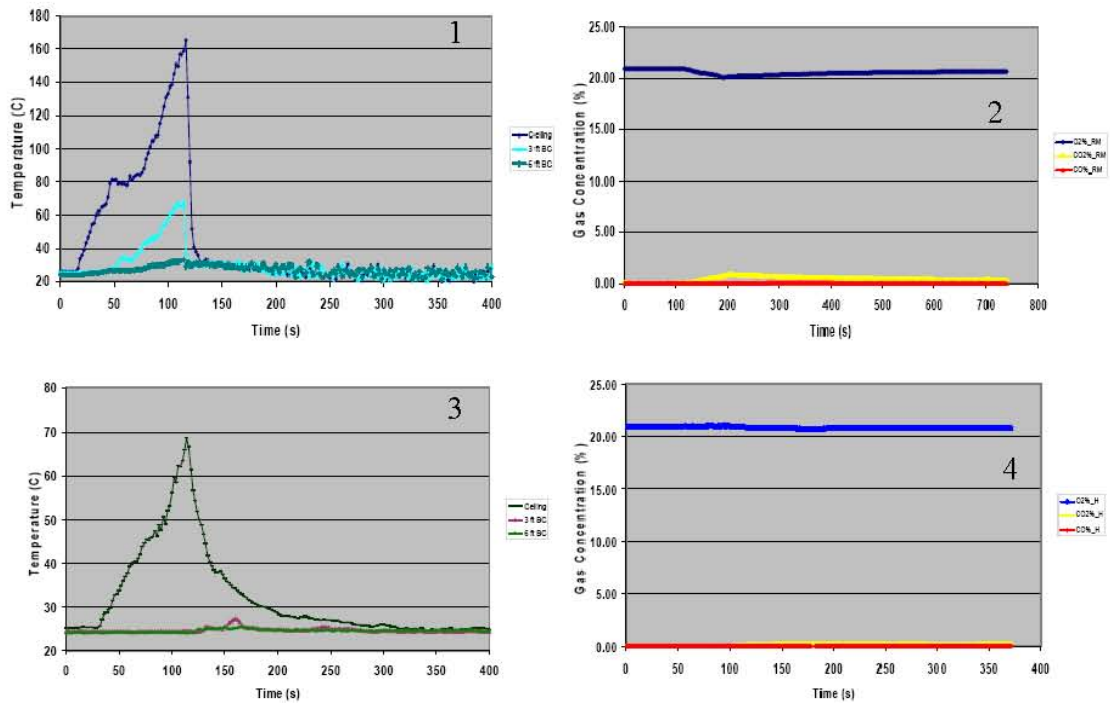


圖 14 實驗 C 之溫度及氣體濃度變化結果

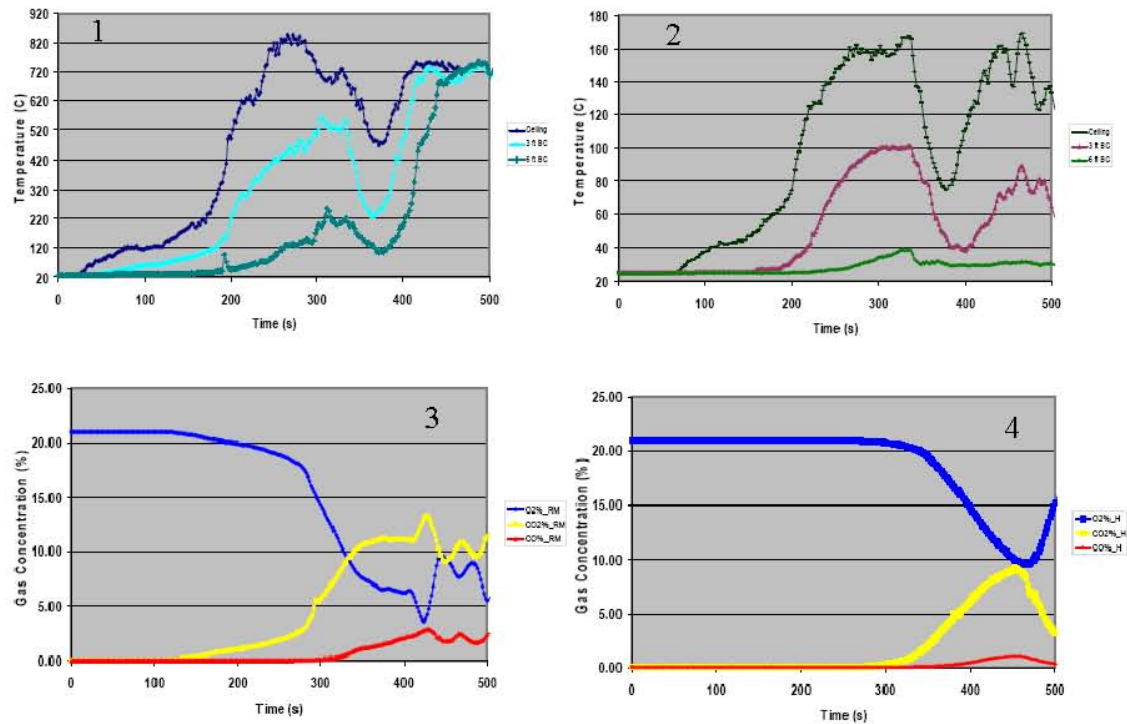


圖 15 實驗 D 之溫度及氣體濃度變化結果

五、 閃燃對火災調查的影響

火場發生閃燃時能改變或覆蓋原有燃燒痕跡，即使經驗豐的調查人員也可遭誤導，因而難以判定起火原因及起火處。火場燃燒痕跡經過閃燃後會產生戲劇性的變化，甚至許多火調人員對於火勢發展的步驟不甚了解。因此，很難對適當解釋現場所見的燒損情形。依實際經驗及模擬燃燒來解釋閃燃後的燃燒現象，以使火調查員能擴展該類火災調查技術，和具備解釋其於火場所見的燃燒現象，進而加強其由密閉空間燃燒後特殊燃燒痕跡研判起火原因及起火處所之能力。

火災現場中某些燃燒型態可能出現在整個房間或大部份的區域，因而無法確定起火點及起火原因。這些現象大部是因為火災前可燃性物質瀰漫整個空間，或火焰非常快速在此區域內移動，例如閃燃。閃燃發生時，火勢迅速蔓延至該區域內之可燃物，進而發展為室內完全燃燒型態，如圖 16。此過程甚至在垂直表面更容易產生。倘若火勢在室內完全燃燒之前終止，則可由在熱氣層底部以上出現較為一致性燃燒現象作為發生閃燃之證據，但當火勢進展至室內全面燃燒時，則

該區域燃燒痕跡可能不均勻，且可能擴展至牆壁底部。

氣體或液體蒸汽之燃燒並不一定會造成爆炸，爆炸是否發生端視外洩燃料之位置與濃度，以及建築空間內之幾何形狀、通風與強度而定。倘若外洩氣體燃料接近爆炸下限（LEL）且未發生爆炸時，則氣體燃料之燃燒可能形成閃燃，閃燃後可能無燃燒或僅有少許燃燒發生。

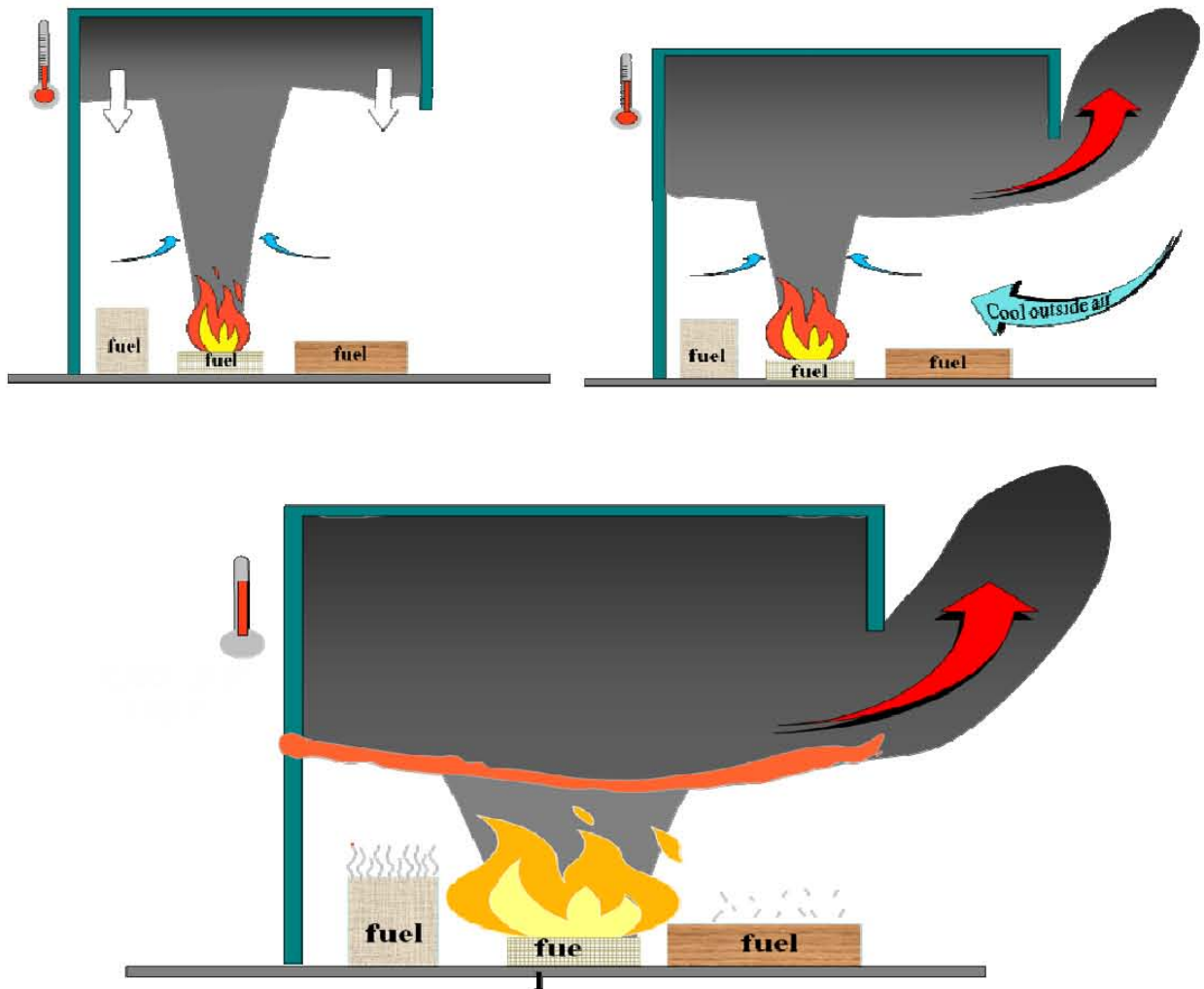


圖 16 室內火災由起火後至閃燃的燃燒情形

氣體燃料所產生之火災時，燃燒最嚴重的區域可能不是最初熱源所在位置，燃燒最嚴重的區域可能出現氣體燃料發生閃燃時與第二燃料接觸之位置，該第二燃料能夠由短暫接閃燃火焰即可點燃。同樣地，一旦第二燃料燃燒時，火勢蔓延之動力學將依第二燃料的幾何形狀及相對釋放率而定。氣體燃料短時間之燃燒與第二燃料之燃燒相比，對於局限空間內閃燃之衝擊較小。因此，當局限空間內發

生閃燃後，起火點之確認端賴目擊者的陳述，及該區域內是否有存在可燃性之氣體燃料而定。然而若無法找到目擊者或是否有潛在的可燃性氣體燃料時，調查人員只能依賴燃燒痕跡之分析，作為確定起火點之唯一方。此時調查工作之困難度在於第二燃料的燃燒結果以及局限空間內的閃燃可能掩蓋起火源所形成之微弱燃燒痕跡。

1. 大部份的火災皆會進入閃燃後階段，
2. 閃燃前的燒損情形受燃料所在的位置控制
3. 閃燃後區域的燒損情形則受通風或氧氣控制
4. 空氣流入燃燒中的房屋內，其方式和水流入河流的方式相同，如果空氣一同一動量移動時，其會持續以該動量移動，除非有外在因素或力量強迫其改變方向，如因熱所產生的浮力、冷卻和強迫壓縮。
5. 在閃燃後的現場，熱釋放率的重要性比在閃燃發生前還重要。
6. 閃燃後的溫度比閃燃前增加華氏幾百度，因此可增加輻射熱的熱傳導。
7. 閃燃後火場的溫度接近該區域所有氣態燃料和氧氣混合後燃燒所產生
8. 在閃燃後的火場中其氧氣濃度快速的下降至低於 1%(體積百分比濃度)
9. 在閃燃後的火場不論是自然通風或強制通風，均會顯著增加火場內的熱釋放率和熱通量。
10. 閃燃後的火災現場必須適當的計算不同程度的燒損情形，火調人員必須清楚了解火災發生時通風狀況對火災所產生的影響。
11. 以前認為燃燒最低點及碳化最嚴重之處即為起火點的觀念，依當今實驗的結論，已非完全正確的觀念。

六、通風條件對燃燒現象的影響

以全尺寸的火災模擬實驗解釋通風對火災的影響，實驗場景為一棟二層樓的建築物，1 樓及 2 樓的平面配置如圖 17(上方為正北方)，1 樓客廳南側放置一 3 人座的長沙發，北側分別放置 2 個單人座沙發，如 18。2 樓東北角房間分別放置

3 個單人座發，如圖 19。進行模擬燃燒後 1 樓長沙發的燒損情形以西側較為嚴重，2 個單人座沙發亦以西側較為嚴重；2 樓沙發則以靠東北側的單人座沙發燒損最為嚴重，靠近西南的單人座沙發反而受燒最輕微。有些調查人員可能會認為沙發的西側為起火點，但 1 樓沙發西側受燒較嚴重，係因該側空氣供給量充足之故，2 樓東北側單人沙發則因 1 樓熱氣流上升後，蓄積於該沙發上方且又有窗戶供給空氣所造成之燃燒結果，如圖 24 及 25。

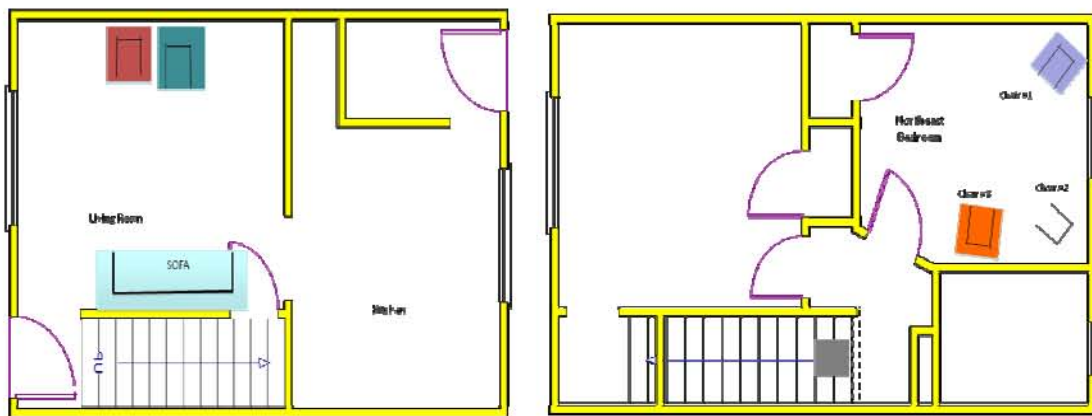


圖 17 火災模擬實驗現場配置圖(左:1 樓，右:2 樓)



圖 18 一樓客廳沙發擺放位置



圖 19 二樓沙發擺放位置



圖 20 一樓長沙發以靠西側受燒較嚴重



圖 21 一樓單人沙發以靠西側的單人沙發受燒較嚴重



圖 22 二樓單人沙發以靠東北側受燒較嚴重



圖 23 二樓靠門口之單人沙發受燒情形較輕微



圖 24 一樓長沙發開始起火情形

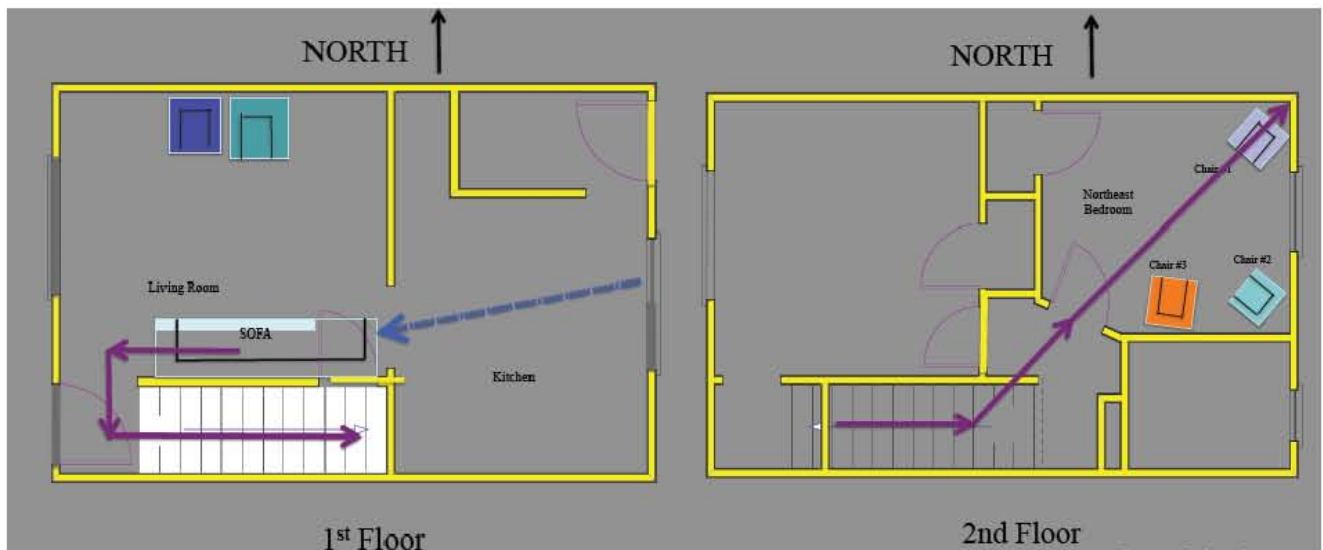


圖 25 火災延燒路徑示意圖

七、火災現場調查科學方法

「火災現場調查科學方法」，火災調查過程中必須不斷驗證及測試所形成的假設。為使火災調查能與科學方法相結合，如圖 26，美國火災調查人員非常強調其使用的調查結果是經過科學方驗證的，其步驟如下：

1. 了解需求：了解所需調查的火災種類、位置及範圍。
2. 定義問題：當問題已存在時，火災調查人員應該闡明如何解決問題，如此才能經由火災現場的勘察和相關資料的蒐集，適當的進行火災原因和起火點的調查。例如類似案件的調查、證人或者其他專家證人、科學實驗文獻的結果等。
3. 收集資料：火災案件發生的事證需透過觀察、實驗或其他直接資料蒐集的方法取得。這些資料稱為經驗，因為其經由觀察或經驗能力所獲得
4. 分析資料：這種科學方法要求分析所有收集的資料，在形成最後假設之前必須行此一步驟。然而要注意的是鑑定、資料蒐集及資料編目等工作不屬於分析資料，資料的分析必須基於知識、訓練、經驗和個人專門技能所做的資料分析。如果火災調查人員缺乏專門技能，無法正確地分析資料，則

此時因尋找專家協助。 調查人員完全理解資料所代表的意義，才能使最後的假設來自於證據，而非來自於調查人員的猜測。

5. 發展假設：火災調查人員基於資料分析結果，產生一個假設，以便解釋火災現場的燃燒現象，例如燃燒痕跡的性質，火勢的擴散，起火點的研判、引火的順序，起火原因、火災或爆炸的損害及責任問題火引起或者損害或者對火或者爆炸事件的責任的原因，這過程稱為假設。這些假設應該為火災調查人員依其經驗透過觀察所獲得，進而能合理解釋事件的經過，這些過程均是基於火災調查人員的知識，訓練，經驗和專門技能。
6. 驗證假設(演繹及推理)：基本上火災調查人員沒有具證明力的假設，除非它能經得起謹慎和嚴格的挑戰的考驗。驗證假設係經過合理的推演，即火災調查人員將設定的假設和已知的事實、科學知識、火災現場相關的情境做比較。假設的驗證方式可經由實際實驗或以科學原理做分析。當驗證假設是以實驗方式進行時，火災調查人員必須確認實驗進行的條件和火災現場的條件是非常相似的。當火災調查人員以已發表的文獻做為驗證假設的方法時，必須注意該研究的可靠度。若假設無法通過驗證，則應放棄該假設，另發展一個新的假設，並且再以相同方法驗證。可以再收集新資料的或再分析現有的資料。驗證的過程需要繼續，直到全部可行的假設已經被測試，並以科學原理決定最後的假設。假如沒有任何一個假設通過合理推理的驗證程序，則最後詰論為原因不明。
7. 避免推測：直到所有資料均已蒐集完成，且沒有具體的假設可再形成，則所有火災或爆炸案件的調查工即完成。調查人員在非臆測狀態下，使用科學方法對起火點、起火原因、引火次序、延燒次序、責任歸屬等做成一個具證明力的假設。
8. 預期的偏見：預期的偏見是常發生的現象，當火災調查人員在未經驗證或全盤考慮所有資料前，太早下初步的結論。火災調查人員若不以合乎邏輯和無偏見的模式收集和檢驗所有的資料，以達成一個科學可靠的結論，卻使

用未成熟的決定去陳述調查過程、分析和最後的結論，這是不科學的法。將預期偏見導入調查結果，導致只使用數據以支持最初形成的結論，而且經常錯誤解釋資料或不用那些無法支持起火點結論的資料，因此火災調查人員在使用科學方法分析事故現場時，必須避免預期的偏見。

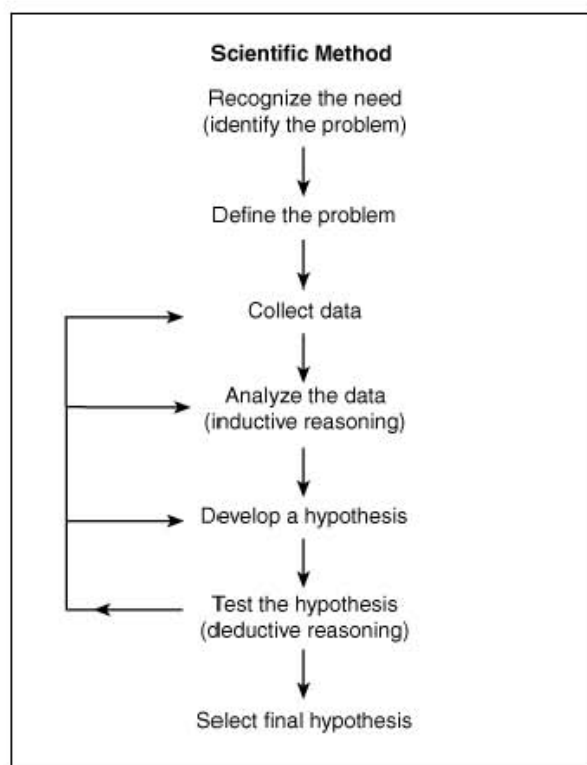


圖 26 火災調查的科學方法

八、電氣火災調查

一般的家用電器設備以及因使用者的錯誤使用方式及狀態，可能導致火災之情形。課程中以全尺寸的實驗，測試電器設備，如音響、電視、DVD 播放機等引起火災的可能性。另外亦有其於工作臺上測試電線熔痕引燃附近可燃物的可能性及電線線受火燒短路之情形。以 15 安培的線路產生短路時的熱相當於一根火柴燃燒 1 秒鐘的熱，故此數據有助於火災調查人員理解，短路的電弧可引燃何種物質，經實驗發現電線產生短路時能引燃的物質為密度較低的物質，如棉絮

等，無法直接引燃高密度物質如木材等，但其可引燃可燃性氣體蒸氣，因此火災調查人員不可僅憑現場發現的熔痕，即對起火原因驟下定論，畢竟大部現場的熔痕為受火燒所造成，故短路熔痕對火災調查的幫助，應是作為協助判定起火處之用。

火災現場中常見金屬的熔點鋁為 1200°F，銅為 2000°F、鑄鋼為 2800°F，大部份的電氣火災均由接觸點開始，因此大部分的電氣火災發生原因為產生高電阻值的接點，通常目視可見的損害為電弧所導致，其他則是由過熱所導致，但其所造成的損害現較不明顯。火災調查人員於調查火災現場時須遵守下列原則：

1. 找出起火點及附近所有的電線及電氣設備
2. 檢視所找出的電線及設備
3. 檢查電源開關情形
4. 確定無遺漏電氣證物
5. 儘可能不切割或破壞證物，可以使用 X-光檢視儀，如圖 27。
6. 訪談關係人和證人，儘可獲取所有資訊，如那些電器設備使用中、有無損壞情形及擺放位置，必須注意關係人或證人有可能說謊。

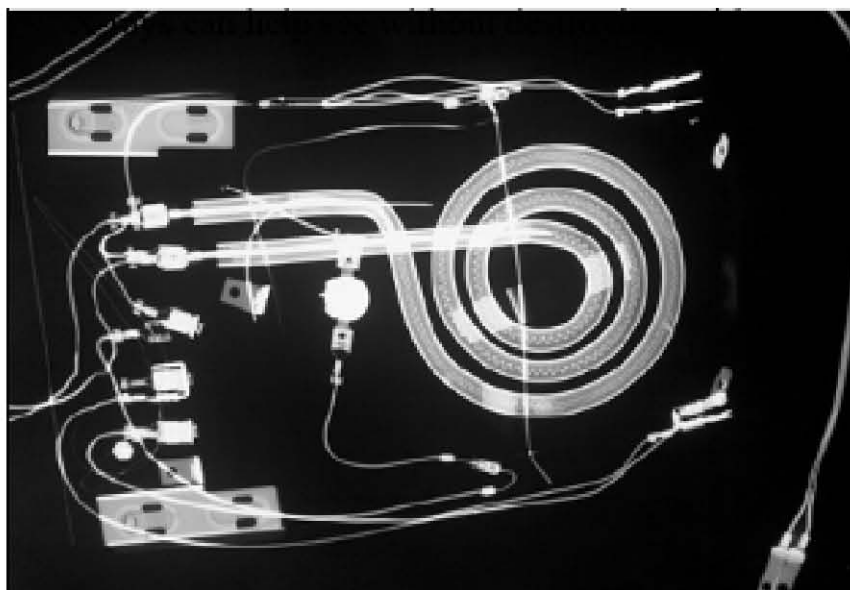


圖 27 以 X 光檢視儀對電器設備進行非破壞性檢驗

肆、建議

為提升國內火災調查技術能及與國際火災調查人員經驗交流，本署為國際縱火調查協會會，編列出國預算派員參加年會及其辦理之訓練研討會，經由多年來參加年會及訓練課程之心得，對國內火災調查技術之提升已有相當之助益。如本署自 95 年以來每年進行火災模擬實驗，累積火災動力學及燃燒痕跡相關資料。然每次年會及其訓練課程內容均有不同之主題及特色，經由出席每年年會及訓練課程研討會，並與各國火災調查人員經驗交流，發現各國之火災調查技術及作為仍有許多值得效法之處，謹就個人所見建議如下：

一、訓練火災調查人員熟練火災調查的科學方法

火災原因調查時因現場的物證大都已燒損甚至燒失，因此火災調查人員於現場調查時，容易陷入以推論做為起火原因和起火點的結論，此亦為國外火災調查人員常犯之錯誤，因而 NFPA 921 發展出的火災調查科學方法。火災調查以前被認為是非常不科學的方法，但近來經過 NFPA 多年的努力，導入火災調查的科學方法，其以科學化的流程不斷驗證蒐集得來的資料，最後得到具有證據力的結論。因此，不論火災消防機關的火災調查人員或是雙方聘請的專家證人，對於調查過程或實驗過程，均一再強調，其使用科學方法，並一再驗證所有可能的假設，最後的結論是合理可靠的。國內火災調查人員不太熟悉此一方法，實有必要訓練國內火災調查人員熟練此科學方法，以強化研判起火點及起火原因的能力。

一、應用非破性 X 光檢視儀於電氣證物鑑定

電氣火災在國外和國內相同均為火災發生原因的第一位，尤其國外為保險制度健全的國家，所有房屋均有保火災險，火災發生後保險公司辦理出險事後，繼

而對致災之電器產品求償，故有電機工程、電子工程的專家投入電氣火災調查鑑定工作，因而對於電氣火災調查技術非常進步。近年來其以 X 光檢視對受燒後的電氣設備做非破壞性的鑑定，此一方法值得我國學習。本署將積極爭取預算購置該儀器，以精進國內火災調查鑑定技術。